

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
dissertação será disponibilizado
somente a partir de 23/02/19

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA-UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

EXIGÊNCIA DE ISOLEUCINA PARA FRANGOS DE CORTE

Mirella Cunha Melaré

Zootecnista

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

EXIGÊNCIA DE ISOLEUCINA PARA FRANGOS DE CORTE

Mirella Cunha Melaré

Orientadora: Profa. Dra. Nilva Kazue Sakomura

Coorientador: Dr. Matheus De Paula Reis

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

2018

M517e Melaré, Mirella Cunha
Exigência de isoleucina para frangos de corte / Mirella Cunha
Melaré. -- Jaboticabal, 2018
vi, 64 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018
Orientadora: Nilva Kazue Sakomura
Banca examinadora: Flavio Alves Longo, Gabriel da Silva Viana
Bibliografia

1. Aminoácido. 2. Dose-resposta. 3. Método fatorial. 4.
Eficiência de utilização. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.084:636.5

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal

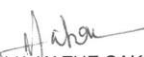


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

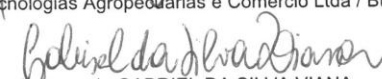
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EXIGÊNCIA DE ISOLEUCINA PARA FRANGOS DE CORTE

AUTORA: MIRELLA CUNHA MELARÉ
ORIENTADORA: NILVA KAZUE SAKOMURA
COORIENTADOR: MATHEUS DE PAULA REIS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ZOOTECNIA, pela
Comissão Examinadora:


Profa. Dra. NILVA KAZUE SAKOMURA
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. FLÁVIO ALVES LONGO
Tecnologias Agropecuárias e Comércio Ltda / Btech / São Paulo / SP


Pós-doutorando GABRIEL DA SILVA VIANA
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 23 de fevereiro de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MIRELLA CUNHA MELARÉ, filha de Sérgio Matheus Melaré e Zélia da Cunha, nascida no dia 9 de março de 1992 em Osasco, São Paulo. Em 2010, iniciou o cursinho pré-vestibular fornecido pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – campus de Jaboticabal, São Paulo. Ingressou no curso de Zootecnia em 2011 na mesma universidade, finalizando a graduação em 2015. Neste período, realizou duas iniciações científicas, sendo bolsista de iniciação científica pela PROPe, no período de março de 2012 a março de 2013, sob orientação da Prof^a. Dr^a. Lizandra Amoroso, e pelo CNPq, no período de abril de 2013 a abril de 2014, sob orientação do Prof. Dr. Luciano Hauschild. Iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia em março de 2016 na mesma instituição com bolsa da FAPESP e sob orientação da Prof^a. Dr^a. Nilva Kazue Sakomura.

À minha mãe Zélia da Cunha
À minha irmã Francine M. C. Melaré
À minha sobrinha Mariana

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus por estar sempre ao meu lado, atendendo minhas orações e guiando meus passos.

À minha família pelo incentivo e por ser meu ponto de apoio, me ajudando a passar pelos momentos difíceis com muita paciência e carinho.

Ao meu namorado, Lucas, por todo apoio e incentivo, sempre com amor e paciência e à sua família por todo carinho e acolhimento.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Campus Jaboticabal, pela capacitação e estrutura oferecida desde o período da graduação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de mestrado concedida (processo nº 2015/25489-8) e pelo financiamento desta pesquisa.

Às empresas Ajinomoto e Evonik pela doação dos aminoácidos industriais e pelas análises de aminograma.

À Prof^a. Dr^a. Nilva Kazue Sakomura, pela oportunidade de ser sua orientada e, desde a graduação, poder receber ensinamentos que contribuíram para o meu crescimento profissional, mas acima de tudo, amadurecimento pessoal.

À Matheus de Paula Reis e Nayara, pela co-orientação, paciência, amizade e ensinamentos durante todo o tempo.

Aos membros da banca de qualificação, Prof. Dr. Edney Pereira da Silva e Dr. Juliano Cesar De Paula Dorigam e aos membros da banca de defesa, Dr. Flavio Alves Longo e Dr. Gabriel Viana, pela imensa contribuição em etapas tão importantes e pela disponibilidade.

Ao Dr. Robert Gous e Jaap van Milgen, pela contribuição para o delineamento dos estudos e desenvolvimento dos artigos.

À todos professores que contribuíram para meu crescimento acadêmico, mas principalmente ao Dr. Edney Pereira da Silva, Dr. José Nelson Peruzzi, Lizandra Amoroso e Luciano Hauschild, por todo conselho, ensinamento e paciência que fizeram muita diferença na minha vida acadêmica.

Aos amigos Welex (Mirim), Andréa (Vatapá), Camila, Ingrid Palloma, Warley e Diego pela amizade, conselhos, momentos engraçados e inesquecíveis.

Aos ex-integrantes da equipe Lavinesp com quem tive contato: Allan, Camila, Daniela, Daniel (Marreco), Gabriel, Henrique, Hilda, Juliano (Kakareco), Katiane, Michele, Miryelle, Marcos, Nayara. Aos atuais integrantes: Bruno, Felipe (Celulari), Felipe (Torcido), Fernando, Gabriel (Macaé), Guilherme (Espiga), Heloísa, Karla, Jefferson, Larissa (Pi-ôia), Letícia (Pomba), Letícia Pacheco, Marllon, Mariana, Matheus (Destructor), Matheus (Pós-doc), Palloma, Rafael (Kuki-Dá), Raian, Thaisa (Lorota), Vinicius e Warley, e a todos os outros que passaram pelo aviário e ajudaram de alguma forma. Muito obrigada por todo incentivo, aprendizado, ajuda e amizade.

Aos funcionários do aviário, que com toda paciência e disposição sempre nos ajudam: Izildo, Renata, Robson e Vicente.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais.....	1
Introdução.....	1
1- Revisão de Literatura.....	2
2.1 Importância do uso de aminoácidos na nutrição avícola	2
2.2 Isoleucina e suas características.....	3
2.3 Antagonismo entre aminoácidos de cadeia ramificada.....	4
2.4 Determinação das exigências de aminoácidos das aves.....	6
2.5 Manutenção de Isoleucina.....	7
2.6 Eficiência de utilização de isoleucina	8
REFERÊNCIAS	10
CAPÍTULO 2 - RESPONSE OF BROILERS TO INCREASING LEVELS OF ISOLEUCINE	16
INTRODUCTION	17
MATERIALS E METHODS	18
Ethics approval.....	18
Birds, housing and experimental design	19
Experimental diets.....	19
Data collection	22
RESULTS	25
DISCUSSION	32
CAPÍTULO 3 – Factorial models to estimate isoleucine requirements for broilers	40
INTRODUCTION	41
MATERIALS E MHETODS	43
Ethics approval.....	43
Birds, housing and experimental design	43
Experimental diets.....	44
Data collection	46
Body nutrient deposition.....	47
Efficiency of utilization.....	48
Models to predict Ile requirements.....	49
Application and evaluation of the models.....	51
RESULTS	52
DISCUSSION	56
REFERENCES	60

COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA)



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o Protocolo nº 009999/14 do trabalho de pesquisa intitulado **"Modelagem da produção e das exigências nutricionais de aves e peixes – Resposta de produção das aves a ingestão de isoleucina, valina e triptofano"**, sob a responsabilidade da Prof.^a Dr.^a Nilva Kazue Sakomura está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal adotado pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), em reunião ordinária de 06 de junho de 2014.

Jaboticabal, 06 de junho de 2014.


Prof.ª Dr.ª Paola Castro Moraes
Coordenadora – CEUA

EXIGÊNCIA DE ISOLEUCINA PARA FRANGOS DE CORTE

RESUMO - A utilização de modelos matemáticos na área de nutrição avícola está se tornando frequente entre as empresas do ramo, que manipulam essa ferramenta com o intuito de melhorar a produtividade e o lucro da atividade. Neste contexto, existe a necessidade de mais pesquisas, visando o estudo das respostas dos animais, estabelecendo valores corretos de eficiência de utilização e assim produzir modelos acurados para predição da ingestão ideal de nutrientes, como a ingestão de Isoleucina (Ile). Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar as respostas das aves submetidas a dietas com níveis crescentes de isoleucina de modo a estimar a exigência de consumo desse aminoácido, além de determinar a eficiência de utilização e desenvolver modelos de predição da exigência de isoleucina para frangos de corte. Foram realizados seis ensaios, três para machos e três para fêmeas, utilizando 640 frangos de corte Ross 308 em cada ensaio. Avaliou-se as fases inicial (1 a 14 dias), crescimento (15 a 28 dias) e final (29 a 42 dias). No total, 8 tratamentos foram distribuídos aleatoriamente em 4 repetições de 20 aves cada. Os tratamentos consistiram em 7 níveis crescentes de Ile e um contra-prova, para confirmar que a Ile foi o primeiro aminoácido limitante na dieta. A técnica de diluição foi aplicada para produzir os níveis de Ile e manter a relação de aminoácidos com a lisina. As variáveis de resposta foram: consumo de ração (CR), ganho de peso corporal (GP) e conversão alimentar (CA). No primeiro artigo, foram ajustados três modelos matemáticos, linear *broken-line* (LBL), quadrático *broken-line* (QBL) e polinomial quadrático (QUAD), com o intuito de determinar o nível ideal de Ile. O critério de informação de Akaike (AIC), uma análise de sensibilidade e uma simulação econômica foram aplicados para avaliar cada modelo. A ingestão ótima de Ile estimada variou de 114,81 a 316,83, 535,49 a 1052,43 e 694,54 a 1610,04 mg de Ile por ave/dia, para as fases inicial, crescimento e final, respectivamente. O modelo QUAD obteve o menor valor de AIC. Após uma redução de 10% na Ile ideal estimada, o LBL foi o modelo com maior impacto na variável resposta (12% de redução no GP). De acordo com a simulação econômica, o nível de Ile estimado pelo modelo QBL tem o menor custo entre todos os modelos. Com base nos resultados deste estudo, o modelo QBL apresentou os melhores resultados entre os modelos utilizados. No segundo artigo, foi determinada a eficiência de utilização (EU) e produzidos modelos fatoriais para a ingestão ideal de Ile. A EU foi determinada por meio de duas técnicas distintas, considerando o corpo inteiro da ave, ou considerando a eficiência para a deposição do aminoácido no corpo livre de penas (Bff) e nas penas. Foram desenvolvidos três modelos fatoriais distintos, M1, M2 e M3. O modelo M2 foi avaliado para uma ou duas EU (Bff + Pena), sendo denominado M2 e M3. Os modelos foram testados utilizando o ajuste do erro o predito. A EU para o corpo inteiro foi estimada em 64%. Quando a eficiência foi particionada, foram determinados os valores de 53 % e 69% para a pena e Bff. A estimativa ideal de ingestão de Ile para cada modelo foi de 275, 882, 1399 mg de Ile/ave/dia (M1); 258, 806, 1307 mg de Ile/ave/dia (M2); e finalmente 289, 819, 1278 mg de Ile/ave/dia (M3) para as fases inicial, crescimento e final, respectivamente. De acordo a análise imparcialidade do modelo, os resultados sugerem que o M3 é o modelo menos tendencioso, que poderia estar relacionado à EU, que foi particionado para Bff e pena. A EU particionada para

o corpo livre de pena e pena reduziu a tendência do modelo. O modelo M1 estima valores mais elevados para a ingestão de Ile do que os modelos M2 e M3, o que pode estar relacionado a diferença em contabilizar o ganho de peso corporal (M1) ou apenas o ganho de proteína (M2 e M3) para estimar a quantidade de aminoácido necessária para o frango de corte em cada fase.

Palavras-chave: aminoácido, dose-resposta, método fatorial, eficiência de utilização

ISOLEUCINE REQUIREMENT FOR BROILERS

ABSTRACT – The use of models in poultry nutrition is becoming decisive among companies, which uses such tool to improve their productivity and profit. In this context, there is a necessity of more research, to study the responses of birds, to elucidate the efficiency of utilization and to produce models to predict an optimal nutrient intake, such as Isoleucine (Ile) intake. The objective of this work was to evaluate the responses of birds submitted to diets with increasing levels of Ile in order to estimate the requirements of this amino acid, as well as to determine the efficiency of isoleucine utilization and to develop models of prediction of Ile requirements for broiler chickens. Six dose response trials were carried out, three for males and three for females, with 640 Ross 308 in each studied phase. The initial (1 to 14 days), grower (14 to 28 days), and finisher (28 to 42 days) phases were evaluated to cover the growing phase of the broiler chicken. In total, 8 treatments were randomly distributed to 4 replicates of 20 birds each. The treatments consisted in 7 crescent levels of Ile and one counter proof, to ensure that Ile was the first limiting amino acid in the diet. Dilution technique was applied to produce the levels of Ile and keep the amino acid ratio with lysine. The response variable where feed intake (FI), body weight gain (BWG), and feed conversion ratio (FCR). In the firs paper, three different mathematical models (linear broken line (LBL), quadratic broken line (QBL), and polynomial quadratic (QUAD)) were adjusted to observed data, producing the optimal Ile level. The Akaike Information Criteria, a sensibility analysis and an economic simulation were applied to evaluate each model. The optimal Ile intake estimated ranged from 114.81 to 316.83, 535.49 to 1052.43, and 694.54 to 1610.04 mg of Ile per bird daily, for starter, growing and finisher phases, respectively. The QUAD model have the lower AIC value. After a reduction of 10% in the optimal Ile estimated, the LBL was the model with the higher impact in the response variable. According to the economic simulation, the feed formulated with the Ile level estimated by QBL model have the lower cost among all models. Based on the results of this study, QBL model have the best results for economic analysis applied. In the second paper, was to determine the EU and produce factorial models for optimal Ile intake. A different procedure to determine the EU was developed and tested in the models produced. The EU were determined to account for whole body or partitioned for feather free body (Bff) and feather. Two distinct factorial models were developed, M1, M2, and M3. The M2 model were evaluated for one or two EU, being denominated as M2 and M3. Models were tested using the residual against predicted technique. The EU determined considering the whole body was 64%. When the efficiency was partitioned, the values of 53 and 69% for feather and Bff were determined. The optimal Ile intake estimate for each model were of 275, 882, 1399 mg of Ile/bird/day (M1); 258, 806, 1307 mg of Ile/bird/day (M2); and finally 289, 819, 1278 mg of Ile/bird/day (M3) for initial, grower, and finisher phases, respectively. According to the error against predicted method, the results suggests that the M3 is the less biased model, which could be related to the EU, which was partitioned for Bff and feather and applied to M2'. In conclusion, the EU partitioned for feather free body and feather reduced the biased of the M3. The model M1 estimate higher values for Ile intake than models M2 and M3,

which may be the difference in account for body weight gain (M1) or only protein gain (M2 and M3) to estimate the amount of amino acid required for broiler chicken in each phase.

Keywords: amino acid, dose-response, factorial method, efficiency of utilization

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

Introdução

Há anos a produção de frangos de corte é destaque no setor de carnes por ser uma fonte de proteína barata e de rápida obtenção, sendo mais acessível ao consumidor de diversos perfis socio-econômicos. De forma a obter produtos de melhor qualidade em maiores quantidades, exigiu-se a tecnificação dessa indústria que vai desde a melhoria das instalações e avanços nas elaborações de medidas sanitárias preventivas até a busca pelo fornecimento de ração que atendam às necessidades para a manutenção e produção do animal. Contudo, o avanço genético das aves necessita de atualizações constantes das exigências nutricionais e programas de alimentação (SAKOMURA et al., 2015).

O fornecimento de uma dieta balanceada em aminoácidos essenciais é fundamental para o atendimento das exigências nutricionais, resultando em melhor aproveitamento de nutrientes, síntese e deposição proteica, desempenho animal, além de redução de custos e poluição ambiental. Dentre esses aminoácidos, a isoleucina (Ile) é de suma importância. É considerada o quinto aminoácido limitante em dietas a base de milho e farelo de soja para frangos de corte (FERNANDEZ et al., 1994; KIDD; BURNHAM; KERR, 2004; BERRES et al., 2010) e em dietas com baixa proteína (PARK; AUSTIC, 2000), podendo interferir no aproveitamento de outros nutrientes pelo animal caso sua exigência não seja atendida.

A maior parte dos estudos sobre exigências de aminoácidos baseiam-se em duas abordagens: a empírica e a fatorial. Na empírica, as exigências de aminoácidos são estimadas em função da resposta do desempenho das aves que receberam dietas contendo níveis crescentes de um aminoácido em determinada idade (GOUS, 1998). Apesar desta técnica ser mais utilizada pelos nutricionistas, é feita uma predição estática dos aminoácidos e válida apenas para as condições em que os experimentos foram realizados (OVIEDO-RONDÓN; WALDROUP, 2002). O método fatorial se baseia na partição das exigências de aminoácidos para a manutenção do corpo, crescimento de todos os componentes do corpo e na eficiência de utilização do aminoácido. A utilização da abordagem fatorial aliada a predição do crescimento corporal possibilita a estimação dinâmica das exigências dos aminoácidos, que por sua vez permite determinar a máxima

margem bruta da atividade por meio da elaboração de programas nutricionais flexíveis (GOUS, 1998)

Para prever a exigência de aminoácidos utilizando o método fatorial, é fundamental que se conheça a eficiência de utilização do aminoácido em questão. Apesar disso, a literatura sobre Ile e sua eficiência de utilização é escassa, o que é algo a ser explorado visto que parte das diferenças entre estimativas existentes ocorre devido às eficiências (DORIGAM, 2016).

Diante da escassez de trabalhos envolvendo Ile, o desenvolvimento de estudos que ajudem na elaboração de modelos de predição é de extrema importância para determinação das exigências de aminoácidos essenciais para frangos de corte.

1- Revisão de Literatura

2.1 Importância do uso de aminoácidos na nutrição avícola

No passado, as aves eram alimentadas com rações que levavam em consideração a exigência em proteína bruta (PB) e não em aminoácidos (FIRMAN; BOLING, 1998). Com os avanços na nutrição, os nutricionistas começaram a aplicar o conceito de proteína ideal, que é definido como o balanceamento ideal de aminoácidos capaz de atender, sem excessos ou falta, às exigências dos aminoácidos essenciais, sendo expressos como porcentagem de lisina, considerada o aminoácido referência (KIDD et al., 1997; FURUYA et al., 2005).

A proteína desempenha funções importantes, sendo constituinte de diversos tecidos como pena, pele, ligamentos, matriz óssea, órgãos e músculos (NRC, 1994). Entretanto, o conhecimento do perfil aminoacídico da proteína é importante, pois as aves apresentam exigências nutricionais de aminoácidos, e não da proteína em si (CORZO; LOAR II; KIDD, 2009). Assim, as exigências dos aminoácidos essenciais devem ser atendidas seguindo-se a ordem de limitação dos mesmos. Quando não atendidas em consideração à ordem de limitação, não há síntese proteica e o desempenho das aves pode ser prejudicado (COSTA et al., 2014).

A composição de aminoácidos das proteínas é variável. Os aminoácidos praticamente não ocorrem em quantidades iguais em uma proteína. Alguns podem estar presentes em grandes quantidades ou até mesmo ausentes em determinados tipos de proteína (NELSON; MICHAEL, 2014), podendo afetar a ordem de limitação dos

aminoácidos (CORRENT; BARTELT, 2011). Isso demonstra a importância do conhecimento da composição em aminoácidos dos ingredientes e da suplementação dos mesmos visando o atendimento da exigência.

A suplementação de aminoácidos essenciais na dieta permite equilibrar sua composição e reduzir a proteína na dieta sem que o crescimento e o desempenho sejam prejudicados. Além disso, pode diminuir a poluição ambiental, aumentar a eficiência alimentar e o retorno econômico, e contribuir para o aumento global de recursos proteicos (WU, 2013).

Tendo em vista as vantagens da suplementação dietética de aminoácidos e a necessidade de fornecer uma dieta que atenda as exigências nutricionais, a suplementação de aminoácidos sintéticos na dieta se torna uma alternativa para suprir as exigências de aminoácidos limitantes (MICHELS; CELLA; BERTOLDO, 2011). Entretanto, para suprir a deficiência dos aminoácidos é necessário que se tenha o conhecimento das exigências.

Há valores fixos compilados em tabelas de exigências que são utilizados para formulação de dietas que visam o custo mínimo. No entanto, fatores como a diversidade genética, potencial de crescimento e composição da carcaça não são considerados (GOUS, 1998). Também é difícil avaliar até que ponto a seleção genética pode alterar os níveis nutricionais exigidos (EMMANS, 1995).

Para garantir o atendimento à exigência nutricional, é necessário que a ave tenha ingerido a quantidade ideal de cada nutriente, o que é possível com a aplicação de modelos matemáticos que possibilitam estimar a ingestão ideal de um nutriente para garantir o desempenho de uma população (SILVA; SAKOMURA; HAUSCHILD, 2014).

2.2 Isoleucina e suas características

A isoleucina (Ile) é membro da família alifática de aminoácidos hidrofóbicos, presente principalmente no interior de proteínas e enzimas (DUARTE, 2009). É classificada como aminoácido apolar, pois possui grupo R com caráter de hidrocarboneto que não interage com a água e, por isso, frequentemente localiza-se no interior da molécula proteica (MARZZOCO; TORRES, 2015). É considerada cetogênica, por liberar corpos cetônicos por meio da conversão do acetoacetyl-CoA em acetona e beta-hidroxidobutirato, e glicogênica por ser convertida em succinil-CoA e transformada em glicose e glicogênio (NELSON; MICHAEL, 2014).

Assim como leucina (Leu) e valina (Val), a Ile sensibiliza tecidos aos hormônios insulina e fator de crescimento semelhante à insulina tipo 1 (IGF-1), sinaliza para os tecidos periféricos que há nutrientes disponíveis para síntese proteica (D'MELLO, 2003) e faz parte do processo de síntese de glutamina e também do equilíbrio entre aminoácidos isoleucina, leucina e valina, conhecidos como aminoácidos de cadeia ramificada (ACR) (WU, 2009).

Dentre os aminoácidos essenciais, Ile é considerada o quinto aminoácido na ordem de limitação em rações à base de milho e farelo de soja para frangos de corte (FERNANDEZ et al., 1994; KIDD; BURNHAM; KERR, 2004; BERRES et al., 2010) e em dietas com baixa proteína (PARK; AUSTIC, 2000). Por vezes, Ile e Val são limitantes ao lado da treonina, que é o terceiro aminoácido limitante (CORZO; LOAR; KIDD, 2009).

Para que os processos metabólicos funcionem corretamente, é preciso que haja o fornecimento ininterrupto dos aminoácidos, principalmente em locais de síntese proteica, já que qualquer déficit pode prejudicar a utilização dos aminoácidos restantes, reduzir a síntese de proteínas e afetar outros processos fisiológicos (D'MELLO, 2003).

Em estudo com frangos de corte em crescimento, observou-se que dietas deficientes em isoleucina resultam em menor rendimento de peito (KIDD et al., 2000). Corzo et al. (2008) relataram redução no ganho de peso e piora da conversão alimentar com dietas contendo níveis reduzidos de isoleucina. Ademais, foi observado que com a suplementação de Ile na dieta houve resposta linear no ganho de peso e melhora linear na conversão alimentar à medida que Ile foi adicionada. Burnham et al. (1992) também relataram o efeito depressor de concentrações dietéticas mais baixas de isoleucina sobre o consumo de ração e o crescimento de frangos de corte.

O desbalanceamento entre ACR pode gerar problemas ao organismo animal como formação anormal de penas em formato côncavo que se direcionam em sentido contrário ao das outras penas, redução de peso corporal e piora na conversão alimentar (RIBEIRO; KRATZ, 2002). De acordo com Park (2006), dietas desbalanceadas retardam o crescimento e reduzem o consumo alimentar de frangos em crescimento.

2.3 Antagonismo entre aminoácidos de cadeia ramificada

O antagonismo é definido como a interação que ocorre quando a ingestão excessiva de um aminoácido aumenta a exigência de outro estruturalmente semelhante.

Esse desequilíbrio ocorre devido a conformação estrutural semelhante dos ACR, os quais compartilham os mesmos sistemas de transporte através de membranas celulares, visto que são degradados pelas mesmas enzimas (aminotransferases de cadeia ramificada, α -ceto-ácido desidrogenase de cadeia ramificada; HARPER, 1984).

Devido a baixa atividade de transaminase nas mitocôndrias das células hepáticas para os ACR (WU, 2013), o catabolismo de Ile, assim como de Leu e Val, não ocorre no fígado como os demais aminoácidos, e sim, nos tecidos muscular esquelético (WILTAFSKY et al., 2010), adiposo, renal e cerebral (NELSON; MICHAEL, 2014).

O processo de transaminação reversível é intermediado pela aminotransferase de cadeia ramificada, resultando na produção de α -cetoácidos ramificados (WILTAFSKY et al., 2010; NELSON; MICHAEL, 2014). Posteriormente, o complexo da desidrogenase dos α -cetoácidos ramificados catalisa a descboxilação da isoleucina, liberando o grupo carboxíla como CO_2 e produzindo acil-CoA (NELSON; MICHAEL, 2014). Em contrapartida, a atividade da desidrogenase dos α -cetoácidos ramificados é maior no fígado em comparação a outros tecidos como músculo esquelético, intestino delgado, tecido adiposo, placenta, coração, rins e cérebro (HARPER et al., 1984). Desse modo, a maior parte dos α -cetoácidos ramificados produzidos pelos tecidos extra-hepáticos é liberado para circulação e posterior absorção e catabolismo pelo fígado (WU, 2013). De forma simplista, o músculo esquelético, absorve os ACR do sangue arterial, em seguida sintetiza alanina e glutamina dos ACR e α -cetogluturato e libera esses dois aminoácidos na circulação (WU, 2009).

Os efeitos resultantes do antagonismo entre os ACR são: baixa taxa de crescimento, baixa eficiência alimentar, conversão alimentar elevada e anormalidade da pena associada à toxicidade à leucina (FARRAN; THOMAS, 1992). Também podem ser observadas alterações dos ACR nos níveis plasmáticos e nos tecidos (HARPER, 1984). De acordo com Park (2006), o transporte competitivo entre os aminoácidos tem grande influência na redução da concentração do aminoácido limitante no cérebro.

A concentração de valina no plasma é sensível aos níveis de leucina e isoleucina, sendo que a leucina também pode interferir no destino da isoleucina e valina (D'MELLO; LEWIS, 1970). De acordo com Cemin (2013), os α -cetoácidos de Ile, Leu e Val são, respectivamente, α -cetometilvalerato (KMV), α -cetoisocaproato (KIC) e α -cetoisovalerato (KIV). Após o consumo de níveis excessivos de leucina, os níveis de isoleucina e KMV e de valina e KIV no plasma sanguíneo e nos tecidos encontram-se reduzidos, demonstrando o efeito do excesso de leucina sobre as exigências de isoleucina

e valina (HARPER, 1984). Calvert et al. (1982) observaram que o excesso de leucina reduziu o consumo de ração, ganho de peso e eficiência de utilização em pintos machos, porém a suplementação de 0,80% de Ile e 1,07% de Val foi capaz de impedir a piora do desempenho animal.

O excesso de isoleucina também afeta a valina e a leucina, pois há um aumento de isoleucina na concentração plasmática, inibindo o transporte dos outros dois aminoácidos até o cérebro, que resulta em redução do consumo de ração (PEGANOVA; EDER, 2002; 2003). Como providência, algum aminoácido estruturalmente semelhante, como leucina ou valina, deve ser fornecido para aliviar o efeito antagonista (PARK, 2006).

Portanto, o conhecimento das exigências nutricionais, do metabolismo e interações entre os aminoácidos são fundamentais para garantir bons resultados na produção animal. Além disso, possibilita a formulação de ração para frangos de corte baseada no atendimento das exigências aminoacídicas, melhorando o desempenho, reduzindo a excreção de nitrogênio ao ambiente (CORZO, 2004) e evitando a ocorrência de problemas relacionados ao antagonismo de aminoácidos.

2.4 Determinação das exigências de aminoácidos das aves

A técnica de formulação mais utilizada para determinar as exigências nutricionais é a de suplementação. Contudo, críticas são feitas ao método por, diversas vezes, as dietas serem formuladas com excesso de nutrientes e pelo aumento sucessivo do aminoácido limitante, que ocasionam no desbalanceamento dos demais aminoácidos, afetando a resposta dos animais (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

Como alternativa, a Técnica de Diluição da Dieta desenvolvida por Fisher e Morris (1970) é baseada no método dose-resposta que pode reduzir a presença de antagonismo entre os aminoácidos. Essa técnica consiste em diluir sequencialmente uma dieta com alto teor de proteína com uma dieta isoenergética e isonutritiva, isenta de proteína. Dessa forma, obtém-se níveis intermediários de aminoácidos, mantendo a relação ideal entre eles, e as respostas dos animais ao aminoácido limitante sem interferência de outros nutrientes da dieta (GOUS; MORRIS, 1985). A técnica é um método aprimorado que proporciona resultados mais confiáveis do que a técnica de suplementação (GOUS, 1980).

Dentre os resultados existentes, Klain et al. (1960) indicaram que o nível de Ile na dieta foi de 0,73% para frangos até 21 dias de vida. Thomas et al. (1992) recomendaram que para frangos de corte fêmeas de 22 a 42 dias de idade, o nível de Ile foi de 0,69% da dieta. Hale et al. (2004) demonstraram o impacto de diferentes níveis de Ile no desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte de 30 a 42 dias de idade. Para ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar, a exigência de Ile foi, respectivamente, de 0,67, 0,66 e 0,68% de Ile na dieta. Para rendimento de peito e asas, a exigência foi estimada em 0,63% de Ile na dieta em Ile.

Os métodos dose-resposta e fatorial são comumente utilizados para determinar as exigências dos aminoácidos e elaborar modelos de predição. Diversos trabalhos utilizam o método dose-resposta para definir os níveis nutricionais das dietas correlacionando com o desempenho animal (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

O método dose-resposta determina as exigências do animal de acordo com a resposta na composição corporal ao aumento da ingestão de determinado nutriente. Nesse método, quando um nutriente limitante é adicionado na ração, mantendo-se os níveis adequados dos demais nutrientes, ocorre crescimento do animal até que sua exigência seja atendida (EUCLYDES; ROSTAGNO, 2001). No método fatorial, as exigências são estimadas de acordo com a demanda dos nutrientes para manutenção, crescimento, engorda e produção (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007). O método dose-resposta é útil para fornecer informações como a eficiência de utilização para elaboração de modelos fatoriais, a qual é fundamental para predição das exigências de aminoácidos.

A escassez de trabalhos sobre Ile e a importância da determinação da exigência de aminoácidos para nutrição avícola realçam a necessidade de novos estudos para atualização do nível ótimo e da eficiência de utilização deste aminoácido.

2.5 Manutenção de Isoleucina

A manutenção é definida como situação de equilíbrio de nitrogênio (N), no qual a ingestão de N é igual a quantidade de N excretada, de forma que o conteúdo de N corporal permaneça constante (SAKOMURA; COON, 2003). Para sua determinação, o uso de aves adultas representa uma forma mais adequada, visto que embora essas aves não estejam acumulando proteínas, requerem aminoácidos dietéticos para funções de manutenção, e não apresentam exigências para crescimento (OWENS; PETTIGREW,

1989). Além disso, o uso de aves adultas tem sido feito em diversas pesquisas (LEVEILLE; FISHER, 1960; BURNHAM; EMMANS; GOUS, 1992; NONIS; GOUS, 2008; BONATO et al. 2011; SIQUEIRA et al., 2011; De Lima et al., 2016).

As exigências de aminoácidos para manutenção podem ser expressas com base no peso metabólico ou em função do peso proteico (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2016). Emmans e Fisher (1986) afirmaram que as exigências de manutenção relacionam-se mais intimamente com o conteúdo de proteína corporal, sendo uma forma mais apropriada para expressar as exigências, uma vez que o conteúdo de lipídios pode variar mesmo entre aves com pesos corporais semelhantes. Assim, propuseram uma equação ($MP = 0,008 \cdot P_m^{0,73} \cdot u$); baseando-se na exigência de proteína, onde MP é a exigência de proteína para a manutenção (g/dia), 0,008 é uma constante (kg de proteína ideal/ unidade de manutenção; $P_m^{0,73} \cdot u$), P_m é o peso de proteína à maturidade (kg) e u é o grau de maturidade da proteína no tempo t ($u = P_t / P_m = 1$ para aves adultas, nas quais $P_t = P_m$). Burnham, Emmans e Gous (1992) e Nonis e Gous, 2008 utilizaram este princípio para estimar as exigências de isoleucina para a manutenção de galos Leghorn (60 mg/kg/dia ou 300 mg/ $P_m^{0,73} \cdot u$ /dia) e de lisina (182 mg/ $P_m^{0,73} \cdot u$ /dia), respectivamente.

De Lima et al. (2016), através da técnica de balanço de nitrogênio, usando diferentes sistemas de unidades, determinou as exigências de isoleucina, valina e triptofano para manutenção. Com base no peso proteico, as exigências foram 24, 134 e 37 mg / kg BP $m^{0,73}$ por d para valina, isoleucina e triptofano, respectivamente. Estes autores inferem que os cálculos baseados no peso da proteína e no grau de maturidade expressam melhor as exigências de aminoácidos para manutenção de aves.

A determinação das exigências de aminoácidos para a manutenção das aves e da eficiência de utilização dos aminoácidos possibilita a elaboração de modelos de predição das exigências com base no método fatorial (SIQUEIRA, 2009).

2.6 Eficiência de utilização de isoleucina

A eficiência de utilização (EU) de aminoácidos se refere a relação entre a quantidade de aminoácido depositada e ingestão do aminoácido para deposição, indicando como os recursos são convertidos em resultados. Para tanto, a quantidade de aminoácido ingerida direcionada para manutenção deve ser descontada do total ingerido (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2016).

A regressão linear é comumente utilizada para determinar a eficiência de utilização de animais em crescimento, através da relação da deposição de aminoácido no

corpo em função da ingestão de aminoácido para ganho. Neste caso, a deposição é a variável dependente, a ingestão é a variável independente e o coeficiente de inclinação da reta representa a eficiência de utilização do aminoácido (EMMANS, 1981).

A determinação da eficiência de utilização de aminoácidos é necessária para melhorar a precisão de modelos de predição. No entanto, a eficiência de utilização de Ile é escassa na literatura e necessita ser estudada. Além disso, a eficiência de utilização muda entre os nutrientes (SIQUEIRA et al., 2011; FERREIRA et al., 2016; DONATO et al., 2016; DORIGAM et al., 2016), o que dá a necessidade de avaliá-la para cada aminoácido. Emmans (1989), utilizou em seu trabalho o valor de eficiência de utilização de 0,80 para todos os aminoácidos. Martin, Bradford e Gous (1994) em experimento para determinar as exigências dietéticas de aminoácidos das frangas poedeiras, utilizaram essa eficiência de utilização de 0,80, em razão de não terem muitos resultados sobre eficiência e considerando que este valor era independente de variações provocadas por genótipo, grau de maturidade, tipo e concentração de aminoácidos. Burnham, Emmans e Gous (1992) após realizar alguns experimentos com frangos de corte, estimaram valores de eficiência de utilização de Ile entre 0,60 e 0,73.

A eficiência de utilização é considerada a mesma para o corpo inteiro, porém, o estabelecimento das exigências em aminoácidos poderia ser mais preciso se fossem utilizadas eficiências diferentes para corpo livre de penas e penas em vista da variação na composição de aminoácidos do corpo e das penas (FISHER et al., 1981; STILBORN et al., 1997). Com base nisso, Kielanowski (1965) foi um dos primeiros a usar uma técnica de regressão linear múltipla para determinar da EU de energia depositada como gordura e proteína, considerando a deposição de cada componente químico e a ingestão de energia acima da manutenção. Este autor considerou o consumo de energia como a variável dependente e a deposição de proteínas e lipídios como variáveis independentes, utilizando o coeficiente de regressão para explicar a proporção em que a energia consumida é convertida em proteína corporal e lipídios corporais. Nos últimos tempos, a mesma técnica foi utilizada por outros autores (KOONG, 1977; AZEVEDO et al., 2005).

Outro aspecto importante de abordar é a variação da eficiência de utilização devido a fatores como: tipo de aminoácido e de seu nível na dieta (HEGER; FRYDRYCH, 1985), idade e sexo (D'MELLO, 2003) e genótipo das aves (FATUFE et al., 2004). Como exemplo, a eficiência de utilização de aminoácidos diminui com o aumento da idade dos animais (SILVA et al., 2014).

Diante da necessidade de atualização dos valores existentes de eficiência de utilização para cada aminoácido e devido sua importância para elaboração de modelos de predição para determinar as exigências em aminoácidos, nos seguintes capítulos serão abordados os métodos dose-resposta, fatorial e a determinação da eficiência de utilização de Ile para frangos de corte.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, P. A., J. VAN MILGEN, S. LEESON, AND D. P. BUREAU. 2005. Comparing efficiency of metabolizable energy utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) using factorial and multivariate approaches. **Journal of Animal Science**, 83: 842-851.

BERRES, J.; VIEIRA, S. L.; DOZIER, W. A.; CORTÊS, M. E. M.; DE BARROS, R.; NOGUEIRA, E. T.; KUTSCHENKO, M. Broiler responses to reduced-protein diets supplemented with valine, isoleucine, glycine, and glutamic acid. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 19, n. 1, p. 68-79, 2010.

BONATO, M. A., N. K. SAKOMURA, J. C. SIQUEIRA, J. B. K. FERNANDES, AND R. M. GOUS. 2011. Maintenance requirements for methionine and cysteine, and threonine for poultry. **South African Journal of Animal Science**, 41: 209-222.

BURNHAM, D.; EMMANS, G. C.; GOUS, R. M. Isoleucine requirements of the chicken: the effect of excess leucine and valine on the response to isoleucine. **British Poultry Science**, p. 33:71-87, 1992.

CALVERT, C.C., KLASING, K. C.; AUSTIC, R. E. Involvement of food intake and amino acid catabolism in the branched—chain amino acid antagonism in chicks. **Journal Nutrition**, p. 112:627–635, 1982.

CEMIN, H. S. **Requerimentos, metabolismo e antagonismos dos aminoácidos de cadeia ramificada na nutrição de monogástricos**. 2013. Teses (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Veterinária. Porto Alegre, 2013.

CORRENT, E.; BARTELT, J. **Valine and Isoleucine: The next limiting amino acids in broiler diets**. Lohmann Information, v. 46, n. 1, April 2011.

CORZO, A.; MORAN JR., E.T.; HOEHLER, D. Valine needs of male broilers from 42 to 56 days of age. **Poultry Science**, v. 83, p. 946–951. 2004.

CORZO, A.; DOZIER, W. A.; KIDD, M. T.; HOEHLER, D. Impact of Dietary Isoleucine Status on Heavy-Broiler Production. **International Journal of Poultry Science**, v. 7, n. 6, p. 526-529, 2008.

CORZO, A.; LOAR, R. E.; KIDD, M. T. Limitações de isoleucina e valina dietética em dietas de frangos de corte. **Poultry Science**, v. 88, n. 9, p. 1934-1938, 2009.

COSTA, F. G. P.; SILVA, J. H. V.; GOULART, C. C.; NOGUEIRA, E. T.; SÁ, L. M. Exigências de aminoácidos para aves. In: SAKOMURA, N. K. et al. **Nutrição de Não Ruminantes**. Jaboticabal: Funep, p. 240-258, 2014.

D'MELLO, J. P. F. **Amino acids in animal nutrition**. 2. ed. CABI publishing, 2003.

D'MELLO, J. P. F.; LEWIS, D. Amino acid interactions in chicken nutrition. 2. Interrelationships between leucine, isoleucine and valine. **British Poultry Science**, II: 313-323, 1970.

DE LIMA, M.B., SAKOMURA, N.K., DORIGAM, J.C.P., DA SILVA, E.P., FERREIRA, N.T., FERNANDES, J.B.K., 2016. Maintenance valine, isoleucine, and tryptophan requirements for poultry. **Poultry Science** 95, 842–850. doi:10.3382/ps/pev380.

DONATO, D. C. Z.; SAKOMURA, N. K.; SILVA, E. P.; TRONI, A. R.; VARGAS, L.; GUAGNONI, M. A. N.; MEDA, B. Manipulation of dietary methionine+cysteine and threonine in broilers significantly decreases environmental nitrogen excretion. **animal**, v. 10, n. 6, p. 903-910, 2016.

DORIGAM, J. C. D. P. **Relação ideal dos aminoácidos essenciais para manutenção, crescimento e produção de aves**. 2016. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2016.

DORIGAM, J.C.P., 2016. Método fatorial para determinar exigências de proteínas e aminoácidos. In: Sakomura, N.K., Rostagno, H.S. (Eds.), **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**, second ed. FUNEP, Jaboticabal.

DUARTE, K. F. **Critérios de avaliação das exigências em treonina, triptofano, valina e isoleucina para frangos de corte de 22 a 42 dias de idade**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009.

EMMANS, G. C. 1989. The growth of turkeys. In: **Recent Advances in Turkey Science**, London, Butterworths. p 135-166.

EMMANS, G.C., 1981. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry, In: Hillyer, G. M., Whittemore, C.T., Gunn, R.G. (Eds.), **Computers Animal Production**. British Society of Animal Production, Edinburgh, pp. 106–110.

EMMANS, G. C. Problems in modelling the growth of poultry. **World's Poultry Science Journal**, v. 51, n. 1, p. 77-89, 1995.

EUCLYDES, R. F.; ROSTAGNO, H. S. Estimativas dos níveis nutricionais via experimentos de desempenho. Nutrição de Aves e Suínos. In: WORKSHOP LATINO-AMERICANO AJINOMOTO BIOLATINA, 1., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu (PR), p. 77-88, 2001.

FATUFE, A., R. TIMMLER, AND M. RODEHUTSCORD. 2004. Response to lysine intake in composition of body weight gain and efficiency of lysine utilization of growing male chickens from two genotypes. **Poultry Science**, 83: 1314-1324.

FARRAN, M. T.; THOMAS, O. P. Valine Deficiency. 1. The effect of feeding a valine deficient diet during the starter period on performance and feather structure of male broiler chicks. **Poultry Science**, v. 71, p. 1879-1884, 1992.

FERNANDEZ, S. R.; AOYAGI, S.; HAN, Y.; PARSONS, C. M.; BAKER, D. H. Limiting order of amino acids in corn and soybean meal for growth of the chick. **Poultry Science**, Champaign, v.73, n. 12, p.1887-1896, 1994.

FERREIRA, N. T.; ALBUQUERQUE, R.; SAKOMURA, N. K.; DORIGAM, J. C. P.; SILVA, E. P.; BURBARELLI, M. F. C.; FERREIRA, J. G.; GOUS, R. M. The response of broilers during three periods of growth to dietary valine. **Animal Feed Science and Technology**, v. 214, p. 110-120, 2016.

FIRMAN, J. D.; BOLING, S. D. Lysine: Ideal protein in turkeys. **Poultry Science**, v. 77, n. 1, p. 105-110, 1998.

FISHER, C.; MORRIS, T. R. The determination of the methionine requirements of laying pullets by a diet dilution technique. **British Poultry Science**, v. 11, n. 1, p. 67-82, 1970.

FISHER, M.-L., S. LEESON, W. D. MORRISON, AND J. D. SUMMERS. Feather growth and feather composition of broiler chickens. **Canadian Journal of Animal Science**, v.61, p. 769-773, 1981.

FURUYA, W. M.; BOTARO, D.; MACEDO, R. M. G.; SANTOS, V. G.; SILVA, L. C. R.; SILVA, T. C.; FURUYA, V. R. B.; SALES, P. J. P. Aplicação do Conceito de Proteína Ideal para Redução dos Níveis de Proteína em Dietas para Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 5, p.1433-1441, 2005.

GOUS, R. M. An improved method for measuring the response of broiler chickens to increasing dietary concentrations of an amino acid. In: **PROCEEDINGS OF THE 6TH EUROPEAN POULTRY CONFERENCE**, v. 3, p. 32-39, 1980.

GOUS, R. M. Lysine: making progress in the nutrition of broilers. **Poultry Science**, v. 77, n. 1, p. 111-117, 1998.

GOUS, R. M. Measurement of response in nutritional experiments. **Nutrient Requirements of Poultry and Nutritional Research**, p. 41-57, 1986.

GOUS, R. M.; MORRIS, T. R. Evaluation of a diet dilution technique for measuring the response of broiler chickens to increasing concentrations of lysine. **British Poultry Science**, v. 26, n. 2, p. 147-161, 1985.

HALE, L. L.; BARBER, S. J.; CORZO, A.; KIDD, M. T. Isoleucine needs of thirty-to forty-two-day-old female chickens: growth and carcass responses. **Poultry science**, v. 83, n. 12, p. 1986-1991, 2004.

HARPER, A. E.; MILLER, R. H.; BLOCK, K. P. Branched-chain amino acid metabolism. **Annual Review of Nutrition**, v. 4, n. 1, p. 409-454, 1984.

HAUSCHILD, L. **Modelagem individual e em tempo real das exigências nutricionais de suínos em crescimento**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, 2010.

HEGER, J.; FRYDRYCH, Z. Efficiency of utilization of essential amino acids in growing rats at different levels of intake. **British Journal of Nutrition**, v. 54, p. 499-508, 1985.

KIDD, M. I.; KERR, B. J.; ALLARD, J. P.; RAO, S. K.; HALLEY, J. T. Limiting amino acid responses in commercial broilers. **The Journal of Applied Poultry Research**, Champaign, v. 9, n. 2, p. 223-233, 2000.

KIDD, M. T.; BURNHAM, D. J.; KERR, B. J. Dietary isoleucine responses in male broiler chickens. **British Poultry Science**, London, v. 45, n. 1, p. 67-75, 2004.

KIDD, M. T.; KERR, B. J.; ANTHONY, N. B. Dietary interactions between lysine and threonine in broilers. **Poultry Science**, v. 76, n. 4, p. 608-614, 1997.

KIELANOWSKI, J. Estimates of the energy cost of protein deposition in growing animals. **Energy metabolism**, v. 13, p. 121, 1965.

KLAIN, G. J.; SCOTT, H. M.; JOHNSON, B. C. The amino acid requirement of the growing chick fed a crystalline amino acid diet. **Poultry Science**, v. 39, p. 39-44, 1960.

KOONG, L. J. A New Method for Estimating Energetic Efficiencies. **The Journal of Nutrition**, v. 107, p. 1724-1728, 1977.

FISHER, H. Amino acid requirement for maintenance in the adult rooster. III. The requirements for leucine, isoleucine, valine and threonine, with reference also to the utilization of the D-isomers of valine, threonine and isoleucine. **Journal Nutrition**, v. 70, p. 135-40, 1960.

MARTIN, P. A., G. D. BRADFORD, AND R. M. GOUS. A formal method of determining the dietary amino acid requirements of laying-type pullets during their growing period. **British Poultry Science**, v. 35, p. 709-724, 1994.

MARZZOCO, A.; TORRES, B. B. **Bioquímica básica**. 4. ed. Campo Grande: Guanabara Koogan, 2015.

MICHELS, J.; CELLA, P. S.; BERTOLDO, G. Efeito dos principais aminoácidos limitantes no desempenho e rendimento de carcaça de suínos em crescimento. In: **Congresso de Ciência e Tecnologia da UTFPR**, Câmpus Dois Vizinhos, p. 321-323, 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient Requirements of Poultry**. National Academy Press, Washington D.C., ed. 9, p. 9, 1994.

NELSON, D. L.; MICHAEL M. C. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

NONIS, M.; R. GOUS. Broiler breeders utilise body lipid as an energy source. **South African Journal of Animal Science**, v. 41, p. 369-378, 2012.

OVIEDO-RONDON, E. O.; WALDROUP, P. W. Models to Estimate Amino Acid Requirements for Broiler Chickens: A Review. **International Journal of Poultry Science**, v. 1, n. 5, p. 106-113, 2002.

OWENS, F. N.; PETTIGREW, J. E., Subdividing amino acid requirements into portions for maintenance and growth. In: **Absorption and Utilization of Amino Acids**. Ed. Friedman, M., Boca Raton: CRC Press, p. 15-30, 1989.

PARK, B. C.; AUSTIC, R. E. Isoleucine imbalance using selected mixtures of imbalancing amino acids in diets of the broiler chick. **Poultry Science**, v. 79, n. 12, p. 1782-1789, 2000.

PARK, B. C. Amino Acid Imbalance-Biochemical Mechanism and Nutritional Aspects. **Asian-Australasian Journal Animal Science**, v. 19, n. 9, p. 1361 – 1368, 2006.

PEGANOVA, S.; EDER, K. Studies on Requirement and Excess of Isoleucine in Laying Hens. **Poultry Science**, v. 81, p. 1714–1721, 2002.

PEGANOVA, S.; EDER, K. Interactions of various supplies of isoleucine, valine, leucine and tryptophan on the performance of laying hens. **Poultry Science**, v. 82, p. 100– 105, 2003.

RIBEIRO, A. M. L.; KRATZ, L. R. Mal empenamento: Problema complexo, causas múltiplas. **Simpósio Brasil Sul de Avicultura**, v. 3, p. 97-104, 2002.

SAKOMURA, N. K.; COON, C. Amino acid requirements for maintenance of broiler breeder pullets. In: **European Symposium on Poultry Nutrition**, Lillehammer, v. 14, p. 280-281, 2003.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Funep, p. 283, 2007.

SAKOMURA, N.K., SILVA, E.P., DORIGAM, J.C.P., GOUS, R.M., ST-PIERRE, N. Modeling amino acid requirements of poultry. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 24, p. 267–282, 2015.

SILVA, E. P.; SAKOMURA, N. K.; HAUSCHILD, L. Modelos para estimar as exigências de aminoácidos para aves. In: SAKOMURA, N. K. et al. **Nutrição de Não Ruminantes**. Jaboticabal: Funep, p. 240-258, 2014.

SIQUEIRA, J.C. **Estimativas das exigências de lisina de frangos de corte pelos métodos dose resposta e fatorial**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009

SIQUEIRA, J. C.; SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S.; BONATO, M. A.; PINHEIRO, S. R. F.; NASCIMENTO, D. C. N. Exigência de lisina para manutenção determinada com galos de diferentes genótipos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 812-820, 2011.

STILBORN, H. L., E. T. MORAN, JR., R. M. GOUS, AND M. D. HARRISON. Effect of Age on Feather Amino Acid Content in Two Broiler Strain Crosses and Sexes. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 6, p. 205-209, 1997.

THOMAS, O. P.; FARRAN, M. T.; TAMPLIN, C. B. Broiler nutrition update. In: **Proceedings-Maryland Nutrition Conference for Feed Manufacturers (USA)**, 1992.

WILTAFSKY, M. K., PFAFFL, M. W.; ROTH, F. X. The effects of branched-chain amino acid interactions on growth performance, blood metabolites, enzyme kinetics and transcriptomics in weaned pigs. **British Journal of Nutrition**, v. 103, n. 7, p. 964-976, 2010.

WU, Guoyao. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. **Amino acids**, v. 37, n. 1, p. 1-17, 2009.

WU, GUOYAO. **Amino acids: biochemistry and nutrition**. CRC Press, 2013.